

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Diagnostika a hodnocení stávajícího stavu objektu sýpky ve Velké Bystrici u Olomouce

Diagnosis and evaluation of the current state of the granary building in Velká Bystřice near  
Olomouc

Vypracovala:

Kristýna Buťáková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jana Daňková, Ph.D.

Ostrava 2021

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

## Zadání bakalářské práce

Student: **Kristýna But'áková**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: Diagnostika a hodnocení stávajícího stavu objektu sýpky ve Velké  
Bysčici u Olomouce  
Diagnosis and Evaluation of the Current State of the Granary Building in  
Velká Bysčice near Olomouc

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Práce bude mít toto členění:

1. Úvod a stavební historie objektu.
2. Teoretická část a rešerše problematiky.
3. Experimentální část.
4. Hodnocení a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

Witzany J. a kol.: PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010.  
Kolektiv autorů: Péče o architektonické dědictví II a III. díl. Praha: Idea servis, 2008.  
Škabrada, J.: Konstrukce historických staveb. Praha: Argo, 2007.  
a ostatní související normy, podklady a publikace podle pokynů vedoucího práce.

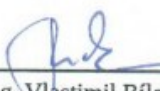
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jana Daňková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021



  
doc. Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci, včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji:

- Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst.3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB–TUO.
- Bylo sjednáno, že VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnutou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB–TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB–TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá stavebně – technickým průzkumem a diagnostikou stavebních konstrukcí bývalé sýpky, která je historickým objektem. Stáří stavby je odhadováno na více, než 200 let. Teoretická část práce je zaměřena na stavebně-technický průzkum, specifika průzkumů historických budov a dále jsou přiblíženy použité diagnostické metody. Experimentální část práce je zaměřena na diagnostiku a hodnocení vybraných nosných konstrukcí řešeného objektu a především na diagnostiku stropní nosné konstrukce ve 2NP.

## **Klíčová slova**

Stavebně-technický průzkum, diagnostika, nedestruktivní diagnostické metody, destruktivní diagnostické metody, dřevěná konstrukce, pevnost v tlaku, pevnost v ohybu

## **Abstract**

This work deals with construction - technical survey and diagnostics of building structures of the former granary, which is a historic building. The age of the building is estimated at more than 200 years. The theoretical part of the work is focused on construction-technical research, specifics of surveys of historic buildings and the used diagnostic methods are approached. The practical part is focused on diagnostics and evaluation of selected load-bearing structures of the solved object, especially on diagnostics of the ceiling load-bearing structure on the 2nd floor.

## **Keywords**

Construction-technical research, diagnostics, non-destructive diagnostic methods, destructive diagnostic methods, wooden structure, compressive strength, flexural strength

### **Poděkování**

Chtěla bych především poděkovat vedoucí práce Ing. Janě Daňkové, Ph.D. za ochotu, cenné rady, trpělivost a poskytnutí konzultací. Dále chci poděkovat zaměstnancům laboratoře FAST za pomoc při realizaci experimentální části práce.

## Seznam použitého značení

$a$	šířka průřez vzorku [mm]
$\alpha$	opravný koeficient vyjadřující vliv vlhkosti na daný způsob zatížení [-]
$b$	průřez vzorku [mm]
$c$	délka vzorku [mm]
$d$	vzdálenost mezi působištěm zatížení a nejbližší podporou při ohybové zkoušce [mm]
$E_{m,g}$	Globální modul pružnosti [N/mm <sup>2</sup> ]
$F$	zatížení [N]
$F_{max}$	maximální zatížení [N]
$F_2 - F_1$	přírůstek zatížení na regresní přímce [N]
$G$	modul pružnosti ve smyku [N/mm <sup>2</sup> ]
$h$	výška průřezu vzorku [mm]
$m_1$	hmotnost zkušebního vzorku před vysušením
$m_2$	hmotnost zkušebního vzorku po vysušení
$\rho_{12}$	hustota dřeva při vlhkosti 12 % [g/cm <sup>3</sup> ]
$\sigma_w$	mez pevnosti v tlaku []
$t_{p,12}$	hloubka vniku rázového kolíku do dřeva o vlhkosti 12 % [mm]
$t_p$	hloubka vniku rázového kolíku do dřeva o známé vlhkosti [mm]
$w$	vlhkost dřeva v době měření [%]
$w_2 - w_1$	přírůstek deformace odpovídající $F_2 - F_1$ [mm]

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Teoretická část a řešení problematiky .....	10
2.1. Stavebně-technický průzkum .....	10
2.1.1. Předběžný stavebně-technický průzkum.....	11
2.1.2. Podrobný stavebně-technický průzkum .....	12
2.2. Specifika průzkumů historických budovy.....	12
2.3. Vybrané diagnostické metody.....	13
2.3.1. Nedestruktivní diagnostické metody.....	13
2.3.2. Semidestruktivní diagnostické metody .....	16
2.3.3. Destruktivní diagnostické metody .....	17
3. Experimentální část.....	20
3.1. Umístění objektu .....	21
3.2. Historie objektu.....	22
3.3. Obecný popis objektu .....	23
3.4. Technický popis objektu.....	23
3.4.1. Konstrukce krovu.....	23
3.4.2. Konstrukce stopu .....	25
3.5. Stavebně-technický průzkum objektu.....	27
3.5.1. Předběžný stavebně technický průzkum dřevěných konstrukcí .....	27
3.5.2. Podrobný stavebně technický průzkum dřevěných konstrukcí.....	34
4. Hodnocení a závěr.....	47
5. Literatura .....	49
Seznam obrázků.....	51
Seznam tabulek.....	52



## 1. Úvod

Člověk má tendenci od jakživa budovat a vymýšlet nové technologie. Stavebnictví je toho dobrým příkladem. V průběhu staletí člověk vyvíjel své schopnosti a poznatky v tomto oboru, časem se jeho důležitou součástí však stala i obnova a zachování stávajících budov. Je důležité se řádně starat o stavební díla po našich předcích, abychom si mohli připomínat, jakým směrem se stavební řemeslo časem vyvíjelo. Touha udržet stavby v zachovalém stavu, dala za vznik diagnostice staveb.

Stavebně-technický průzkum a diagnostika stavby by měly předcházet každé rekonstrukci budovy. V případě, že se u stávající stavby setkáváme s určitým problémem, je správná diagnostika budovy nezbytnou součástí rekonstrukce. Pokud není zjištěna příčina vzniku poruchy či vady, je velmi pravděpodobné, že bychom se mohli s daným problémem potýkat opětovně i po provedení rekonstrukce, taková situace přináší obvykle vyšší provozní náklady a snížený komfort užívání stavby. Životnost stavby je dána vhodným výběrem materiálu a kvalitou provedené práce.

Samotné odvětví diagnostiky staveb se neustále vyvíjí vpřed. V dřívějších dobách jsme se setkávali především se smyslovými metodami. Ty používáme i dnes, ale přibýlo k nim mnoho moderních zařízení, se kterými jsme schopni odhalit poruchy bez přímého zásahu do konstrukce. Ovšem pořád je nutno kombinovat destruktivní a nedestruktivní metody. Dalo by se říci, že diagnostika stavby nabývá stejné důležitosti, jako její samotná výstavba.

Teoretická část této bakalářské práce je zaměřena na metodiku stavebně-technického průzkumu budov, jeho návaznost na památkový zákon a vybrané diagnostické metody.

Experimentální část obsahuje popis historie a konstrukce vybrané stavby. Provedeným destruktivním a nedestruktivním měřením v praxi, přičemž největší pozornost byla věnována diagnostice dřevěné nosné stropní konstrukci ve 2NP. Byly také provedeny nedestruktivní a semidestruktivní diagnostické metody na zděných konstrukcích.

## 2. Teoretická část a řešení problematiky

### 2.1. Stavebně-technický průzkum

Stavebně-technický průzkum (dále jen STP) je souhrn činností a postupů, které vedou k vyhodnocení aktuálního stavu a vlastností stavebních materiálů, konstrukcí a jiných prvků, jak jednotlivě, tak i jako celek. Převážně hodnotíme konstrukce ze statického hlediska. Upřednostňujeme nedestruktivní a semidestruktivní diagnostické metody. Dále může být STP rozšířen dle požadavků objednatele například např. o tepelně technický průzkum budovy [1, 2].

STP se také využívá při návrhu sanací a rekonstrukcí stávajících konstrukcí, kdy lze stanovit příčiny některých vad a poruch. Každá konstrukce může mít jiné vlastnosti, což se musí při průzkumech zohlednit, z čehož vyplývá, že při každém průzkumu se volí unikátní postup. Objednatel STP by měl jednoznačně stanovit účel průzkumu. Podle účelu a cíle STP je následně stanoven rozsah metod [1, 2].

Je důležité, aby osoba vykonávající STP byla odborně způsobilá v oboru a měla dostatek zkušeností. Většinou tuto činnost vykonávají autorizovaní inženýři nebo stavební znalci v oboru diagnostika staveb [2].

V současné době je STP normovaným procesem. Zásadními normami jsou:

- ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN ISO 13822: Hodnocení existujících konstrukcí
- ČSN 73 0038: Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení, která byla znovu vydána v roce 2014 a má funkci národní přílohy k normě ČSN ISO 13822

Obecně má stavebně-technický průzkum tyto fáze [19]:

- Stanovení účelu hodnocení
- Scénáře
- Předběžné hodnocení:
  1. Studium dokumentace a dalších údajů
  2. Předběžná prohlídka
  3. Předběžné ověření
  4. Rozhodnutí o okamžitých opatřeních
  5. Doporučení pro podrobné hodnocení

- Podrobné hodnocení:
  1. Detailní vyhledání a prověření dokumentace
  2. Podrobná prohlídka
  3. Stanovení zatížení
  4. Stanovení vlastností konstrukce
  5. Analýza konstrukce
  6. Ověření
- Výsledky hodnocení
  1. Zpráva
  2. Koncepční návrh konstrukčních opatření
  3. Řízení rizik
- V případě potřeby se postup opakuje

Výše uvedený postup se může aplikovat jako pro hodnocení jedné určité konstrukce, tak pro hodnocení skupiny konstrukcí [19]

Stavebně technické průzkumy se provádějí ve třech stupních [2]:

- Předběžný STP
- Podrobný STP
- Doplňující a speciální STP – je zpracováván dodatečně pro doplnění informací v průběhu sanace či rekonstrukce

#### 2.1.1. Předběžný stavebně-technický průzkum

Předběžný STP slouží k vytvoření studie pro sanaci či rekonstrukci budovy. Lze jej provádět při plném provozu budovy. Součástí je shromáždění všech dostupných podkladů o daném objektu a provedení základních diagnostických metod. Používáme především nedestruktivní a semidestruktivní diagnostické metody [2].

Mezi hlavní části podrobného STP řadíme [19]:

- Studium dokumentace a zpráv z prohlídek
- Předběžná prohlídka
- Předběžná ověření
- Rozhodnutí o okamžitých opatřeních

### 2.1.2. Podrobný stavebně-technický průzkum

Vykonává se na základě předběžného STP, pokud [19]:

- Je rozsah a význam stavby veliký
- Je rozsah a význam nalezených vad a poruch značný a zásadní
- Na základě předběžného STP nebyly identifikovány příčiny nalezených vad a poruch

Stavebně-technický průzkum musí být prohlouben o fázi podrobného stavebně-technického průzkumu [19].

Podrobný STP detailněji doplňuje získané informace při předběžném STP. Zkoumá se kvalita jednotlivých materiálů a jejich statické parametry. Zjištěné informace poté slouží jako podklady pro vyhotovení konkrétního návrhu technologie rekonstrukce či sanace objektu. Při podrobném STP průzkumu se setkáváme se semidetruktivními a destruktivními diagnostickými metodami, kterými jsme schopni přesně určit stav dané konstrukce. Jedná se například o jádrové vývrty a o gravimetrickou metodu, jejichž vyhodnocení se provádí v laboratoři. [2]

Mezi hlavní části podrobného STP řadíme [19]:

- Podrobné vyhledání a prověření dokumentace
- Podrobná prohlídka zkoušky materiálu
- Stanovení zatížení
- Stanovení vlastností konstrukcí
- Analýza konstrukce
- Ověření

### 2.2. Specifika průzkumů historických budovy

Nedílnou součástí stavebně-technického průzkumu je i stavebně historický průzkum stavby, který se provádí u historických budov. Specifika stavebně-historického průzkumu jsou podmíněna tím, pro jaký účel má průzkum sloužit [3].

Historický průzkum (dále jen SHP) by měla vykonávat dostatečně kvalifikovaná osoba v oboru. Jako každý průzkum, tak i historický průzkum se zahajuje studiem všech dostupných podkladů o stavbě, dále se doplňuje například studiem encyklopedických či syntetických prací, které se zabývají určitým typem objektů. Postup při SHP není a nemůže být jednotný. Při

průzkumu se preferují především nedestruktivní a semidestruktivní diagnostické metody. SHD průzkum se liší od stavebně-technického průzkumu tím, že se snažíme zachovat co nejvíce původních materiálů a při renovaci se snažíme o napodobení nebo o použití stejných materiálů [3].

### 2.3. Vybrané diagnostické metody

Tato část práce je věnovaná základnímu rozdělení diagnostických metod a vybraným diagnostickým metodám, které v praxi slouží k upřesnění fyzikálních, mechanických a chemických vlastností stavebních materiálů.

Při posuzování konstrukcí hodnotíme nejdříve vizuální stav konstrukce a poté volíme jednotlivé diagnostické metody. Diagnostické metody dělíme obecně z hlediska zásahu do konstrukce na [2, 4]:

- nedestruktivní
- semidestruktivní
- destruktivní

V praxi, při provádění STP, se nejčastěji uplatňují nedestruktivní a semidestruktivní diagnostické metody, resp. vždy soubor metod.

#### 2.3.1. Nedestruktivní diagnostické metody

U nedestruktivních metod ve většině případů nedochází k poškození povrchu konstrukce. K malému, lokálnímu poškození může docházet například u tvrdoměrných nebo vrypových metod [4].

Podle fyzikálních principů dělíme nedestruktivní metody na [4]:

- Tvrdoměrné (vrypové, odrazové, vtiskové)
- Elektrické (odporové, kapacitní)
- Elektromagnetické (indukční, mikrovlnné)
- Elektrodynamické (ultrazvukové, rezonanční)
- Radiační (radiografické, radiometrické, měření radonu)

Při vizuálních kontrolách se zaměřujeme především na viditelné projevy degradace konstrukcí jako jsou například trhliny, zvýšená vlhkost, mechanické opotřebení, koroze prvků, biologická degradace a podobně. Lze také použít jednoduché optické přístroje [1].

### *Akustická trasovací metoda*

Jedná o jednoduchou, ale účinnou metodu, kterou můžeme zjistit kvalitu povrchu dané konstrukce. Pro zjištění stavu povrchu je zapotřebí nástroje, který se skládá z volné nebo teleskopické tyče na jejímž konci je umístěna ocelová kulička. Poklepem na konstrukci v závislosti na tom, jaký zvuk vydává jsme schopni určit například dutá nebo odtržená místa v konstrukci. Akustická odezva může být dutá, zvonivá nebo křaplavá. Výsledky akustické trasovací metody by měly být zaznamenány do výkresové dokumentace a měla by se provést také fotodokumentace [1, 4].

Akustické metody můžeme používat i ve spojení se dřevem, kdy poklepem na dřevěnou konstrukci můžeme zjistit, zda se v prvku nenachází vzduchové dutiny, které mohly vzniknout ve spojení s dřevokazným hmyzem.

### *Zjištění vlhkosti konstrukce pomocí kapacitního vlhkoměru*

Pomocí kapacitního vlhkoměru měříme povrchově vlhkost obsaženou ve stavebních materiálech například vlhkost betonu, zdiva a omítek. Na spodní straně přístroje jsou umístěny dvě elektrody (přijímací a vysílací) mezi kterými dochází k přenosu signálu. Přístroj stačí pouze přiložit na měřený materiál a na displeji se zobrazí naměřená hodnota vlhkosti. Můžeme měřit až několik centimetrů pod povrchem. Na přístroji si můžeme nastavit hloubku ve které chceme vlhkost měřit (10 mm nebo 25 mm) a také si v nastavení zvolíme typ měřeného materiálu [11].



Obrázek 1- Kapacitní vlhkoměr

### *Zjištění vlhkosti pomocí odporového vlhkoměru*

Odporové vlhkoměry jsou primárně určeny pro měření vlhkosti u dřeva. Na přístroji se nachází dva hroty, které se zapíchnou do měřeného prvku. Vlhkost měříme pouze na povrchu prvku. Tento typ vlhkoměru funguje na principu měření elektrického odporu, který závisí na

množství vlhkosti přítomné v materiálu. Měření probíhá mezi špičkami hrotů, proto je důležité, aby hroty vnikly do daného materiálu [11].

U dřevěných prvků zabudovaných v konstrukci by se měla hodnota vlhkosti pohybovat mezi 12 % – 15 % [11].



Obrázek 2- Odporový vlhkoměr [14]

#### *Měření přístrojem Resistograph PD 200*

Tato diagnostická metody se využívá pro identifikaci skrytých vad v dřevěných prvcích např. přítomnost hniloby na určitém místě, případně pro odhalení trhlin a suků. Měření lze provádět v laboratoři za podmínek, že jsme schopni odebrat z konstrukce dostatečně reprezentativní zkušební vzorek. Jinak se metoda dá provádět in-situ. Měření se obvykle provádí současně s měřením přístrojem PILODYN [13].



Obrázek 3 - Resistograph PD 200 [15]

Volba zkušebních míst se odvíjí od účelu měření. Měření se neprovádí místě viditelného poškození. Pro získání relevantního výsledku se musí provést vždy dostatečný počet měření, ale každý další vrt znamená další záměrné poškození prvku, což není pro některé konstrukce

přijatelné. V případě měření in-situ se musí průběžně zaznamenávat všechna fakta do polního deníku. Výsledkem měření je graf, na kterém se vyobrazí veškeré abnormality. [13]

### 2.3.2. Semidestruktivní diagnostické metody

Jsou to metody u kterých dochází k minimálnímu zásahu do konstrukce stavby [4].

Rozdělení semidestruktivních zkoušek dle zásahu do konstrukce [4]:

- Vnikací tvrdoměrné zkoušky
- Vrtací metody, kdy se na základě hloubky vrtu stanoví pevnost materiálu
- Lokální zkoušky pevnosti zdiva pomocí dvou plochých lisů

Například, pro dřevěné materiály se využívá přístroj Pilodyn 6J, který funduje na principu zarážení trnu do dřeva energií 6 joulů a maximální hloubka vniku rázového kolíku je 40 mm. Tento přístroj je vhodný pro zkoušení jehličnatého dřeva. Měří se hloubka průniku trnu do dřeva. Rázový kolík může mít průměr od 2 do 3 mm. Na stupnici můžeme ihned odečíst hloubku vniku rázového kolíku do dřeva [12].



Obrázek 4 - Pilodyn J6 [16]

Pro zjišťování hustoty dřeva na základě měření vlhkosti a hloubky vniku rázového kolíku do dřeva (za předpokladu, že u dřevěného prvku provedeme čtyři měření na různých místech) lze použít tyto 5% regresní rovnice [12]:

$$\rho_{12} = -0,027102 t_{p,12} + 0,727987 \quad (1)$$

$$t_{p,12} = t_p (1 - 0,007 \Delta w) \quad (2)$$

$$\Delta w = w - 12 \quad (3)$$



Kde:  $\rho_{12}$  – hustota dřeva při vlhkosti 12 % [g/cm<sup>3</sup>]

$t_{p,12}$  – hloubka vniku rázového kolíku do dřeva o vlhkosti 12 % [mm]

$t_p$  – hloubka vniku rázového kolíku do dřeva o známé vlhkosti [mm]

$w$  – vlhkost dřeva v době měření [%]

### 2.3.3. Destruktivní diagnostické metody

Destruktivními nazýváme takové metody, kdy z konstrukce odebíráme materiál v takovém množství, které umožňuje z odběrů připravit vzorky pro následnou realizaci experimentálních metod v laboratoři. Odběr vzorků musí být proveden se zřetelem na vypovídací schopnost výběru pro odběr v konstrukci. A dále, musí být proveden v dostatečném množství, jak to předepisuje příslušná norma nebo metodický postup experimentu. Při výběru místa odběru se řídíme zásadami stanovenými v normách [20].

U gravimetrické metody se ručně odebere vzorek, který se uzavře do nepropustné nádoby, aby nedocházelo k úniku vlhkosti ze zkušebního prvku. Vážení vzorku v laboratoři provádíme i s nádobou, ve které jsme vzorek přepravovali, aby měření nebylo příliš ovlivněno, protože část vody nám může zkondenzovat uvnitř nádoby. Po zvážení se vzorek vloží do sušárny, která má teplotu  $105 \pm 2$  °C. Materiály, u kterých by mohlo dojít k poškození při takto vysoké teplotě, nebo by u nich mohlo dojít ke ztrátě chemicky vázané vody sušíme na nižší teplotu, a to při teplotě  $40 \pm 2$  °C [21].

Vlhkost zjištěná gravimetrickou metodou se udává nejčastěji jako hmotnostní vlhkost. Je podle ČSN EN ISO 12570 definována vztahem [ČSN 49 0103]:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (4)$$

Kde:  $m_1$  – hmotnost zkušební vzorku před vysušením

$m_2$  – hmotnost zkušební vzorku po vysušení

Nevýhodou této zkušební metody je množství času, které je potřebné k provedení zkoušky. Výsledky zkoušky získáme s větším časovým odstupem a není možnost ji provést in-situ. Výhodou metody je její přesnost [21].

Měření se provádí v souladu s normou ČSN EN ISO 12570 a pro stanovení vlhkosti řeziva dle normy ČSN EN 13183 – 1.

### *Stanovení meze pevnosti dřeva v tlaku ve směru vláken*

Podstatou metody je zjištění maximálního zatížení, které poruší zkušební těleso v tlaku.

Zkušební tělesa musí mít tvar pravoúhlého hranolu o rozměrech 2x2x3 cm. Počet a způsob odběru vzorků se stanovuje podle účelu zkoušky. Minimální počet zkušebních vzorků by být aspoň 30 zkušebních těles [22].

U zkušebních těles se musí změřit rozměry s přesností na 0,1 mm. Zkušební těleso se vloží do lisu a zatěžuje rovnoměrnou silou, až do jeho porušení. Rychlost zatěžování musí být taková, aby k porušení vzorku došlo za  $(1 \pm 0,5)$  min od začátku zatěžování tělesa. Maximální zatížení se zaznamená s přesností na 1 %. Po ukončení zkoušky se měří vlhkost vzorků podle potřeby [22].

Stanovení meze pevnosti v tlaku ve směru vláken provádíme podle následujícího vztahu [22]:

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \quad (5)$$

Kde:  $F_{max}$  – maximální zatížení [N]

$a, b$  – průřez vzorku [mm]

Výsledek se zaokrouhlí s přesností na 0,5 MPa.

V případě potřeby se mez pevnosti  $\sigma_w$  přepočítá pro vlhkost se zaokrouhlením na 0,5 MPa podle vzorce [ČSN 490110].:

$$\sigma_{12} = \sigma_w (1 + \alpha (W - 12)) \quad (6)$$

### *Stanovení pevnosti v ohybu a globálního modulu pružnosti u dřeva*

Zkušební těleso se zatěžuje symetricky na ohyb dvěma břemeny při rozpětí prvku alespoň 18 násobku výšky zkušebního tělesa. Pokud tyto parametry zkušební těleso nesplňuje, je možnost vzdálenost upravit o 1,5 násobek výšky zkušebního tělesa. Délka zkušebního tělesa se může změnit nejvýše o trojnásobek výšky tělesa [23].

Zkušební těleso musí být prostě podepřeno. V případě potřeby se musí těleso zajistit proti vybočení. Toto vyztužení musí umožnit průhyb tělesa bez výrazného odporu třením [23].

Těleso musí být zatěžováno konstantní rychlostí a to  $(0,003 h)$  mm/s. použité zatěžovací zařízení musí umožnit měření s přesností 1% zatížení působícího na zkušební těleso, nebo pro

zatížení menší než 10 % nejvyššího zatížení působícího na zkušební těleso s přesností 0,1 % největšího působícího zatížení[23].

Vyjádření globálního modulu pružnosti provádíme dle vzorce [23]:

$$E_{m,g} = \frac{3dl^2 - 4 \cdot d^3}{2bh^3 \left( 2 \frac{w_2 - w_1}{F_2 - F_1} \right) - \frac{6a}{5Gb}} \quad (7)$$

Kde:  $F_2 - F_1$  – přírůstek zatížení na regresní přímce [N] s korelačním součinitelem 0,99 nebo lepším

$w_2 - w_1$  – přírůstek deformace odpovídající  $F_2 - F_1$  [mm]

$G$  – modul pružnosti ve smyku [N/mm<sup>2</sup>]

$d$  – vzdálenost mezi působišťem zatížení a nejbližší podporou při ohybové zkoušce [mm]

$b$  – šířka průřezu při ohybové zkoušce, nebo menší rozměr průřezu [mm]

$h$  – výška průřezu při ohybové zkoušce, nebo větší rozměr průřezu, nebo výška zkušebního tělesa při zkoušce kolmo k vláknům při smykové zkoušce [mm]

Vyjádření pevnosti v ohybu rovnoběžně s vlákny [23]:

$$f_m = \frac{3Fd}{b \cdot h^2} \quad (7)$$

Kde:  $F$  – zatížení [N]

$a$  – vzdálenost mezi působišťem zatížení a nejbližší podporou při ohybové zkoušce [mm]

$b$  – šířka průřezu při ohybové zkoušce, nebo menší rozměr průřezu [mm]

$h$  – výška průřezu při ohybové zkoušce, nebo větší rozměr průřezu, nebo výška [mm]

### 3. Experimentální část

Objekt, který se stal předmětem této práce se nachází ve městě Velká Bystřice u Olomouce. Jedná se o čtyřpodlažní budovu přibližně z 19. století, která v dřívějších dobách sloužila jako sýpka. Představa současného majitele je taková, že by budova mohla sloužit jako muzeum místních tradic. Je zájmem vlastníka zachovat původní, historické dřevěné konstrukce pro nové, zamýšlené použití. Účelem STP je ověření stávajícího stavu vybraných prvků stávající dřevěné konstrukce.

Tato bakalářská práce je zaměřena především na diagnostiku dřevěných konstrukcí a to konkrétně stropní konstrukce ve 2NP. V souvislosti s průzkumem dřevěné konstrukce byl proveden průzkum souvisejících, hlavně zděných, konstrukcí.



*Obrázek 5- Řešený objekt sýpky ve Velké Bystřici*



### 3.1. Umístění objektu

Objekt se nachází v nynější průmyslové zóně katastrálního území Velká Bystřice na parcele číslo 600/4.



*Obrázek 6- Katastrální mapa objektu [17]*

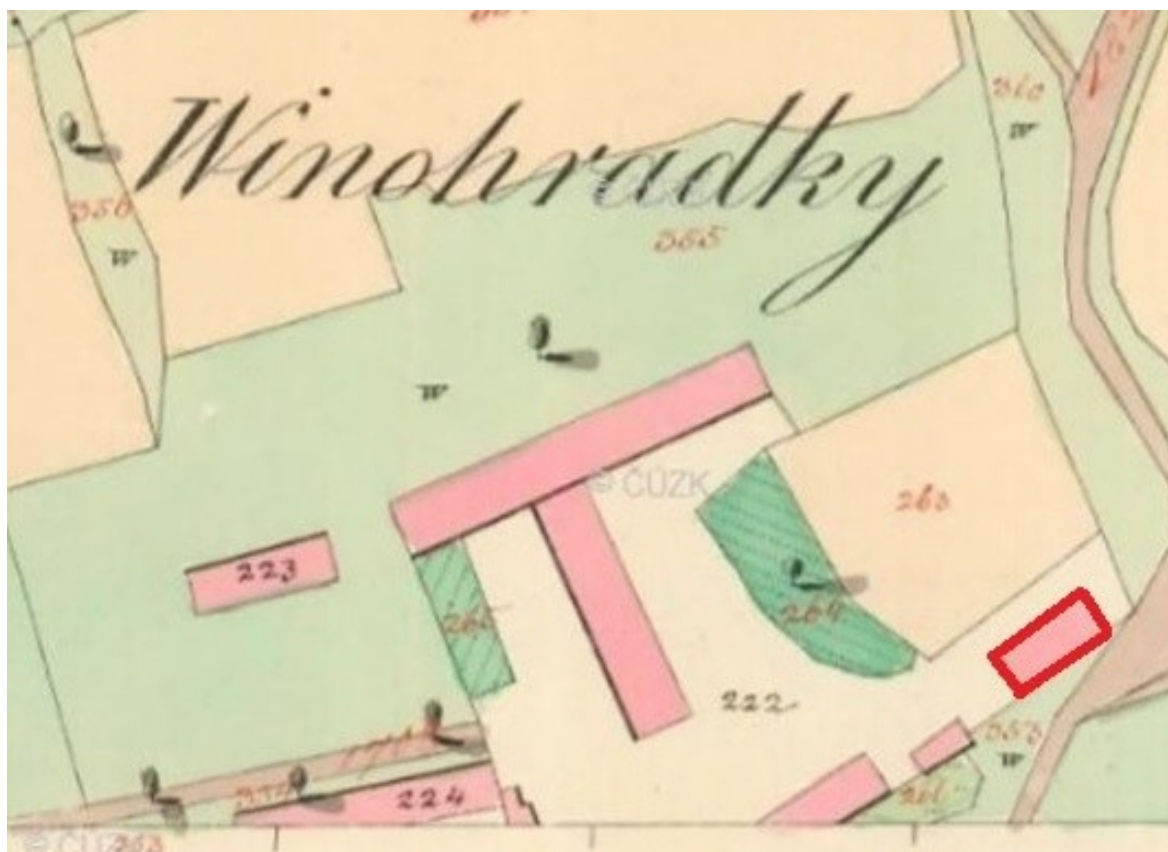


Obrázek 7- Letecká mapa objektu [18]

### 3.2. Historie objektu

První dohledatelné záznamy o řešeném objektu jsou z roku 1824-1843. Objekt je zanesen v historické mapě, tzv. císařských povinných otiscích stabilního katastru, v katastru obce Velká Bystřice [5]. Objekt může být starší, podle charakteru stavebních konstrukcí se pravděpodobně jedná se o barokní zemědělskou stavbu. Objekt byl využíván v dřívějších dobách jako sýpka, nebo později jako skladovací objekt.

Objekt tvoří čtyři podlaží, přičemž dvě podlaží jsou tvořena využívaným krovem. Obvodové zdivo se skládá ze smíšeného zdiva, které tvoří cihly a kámen, objekt byl dodatečně omítnut. Střecha na objektu je sedlová s valbovými vikýři, střešní konstrukce i konstrukce stropu jsou tvořeny dřevěnými trámy. V budově se nenachází žádné vnitřní nosné zdi, všechno zatížení je přenášeno do nosných obvodů stěn budovy. Jednotlivá patra jsou spojena dřevěným dvouramenným schodištěm. Fasáda budovy je jednoduchá, bez členění, doplněna ozdobnou římsou. Vstup do budovy je pouze jeden a nachází se na východní straně budovy. Okenní otvory jsou menších rozměrů, jejich výplně jsou tvořeny dřevěnými okenicemi doplněnými ocelovými mřížemi s šestihranným pletivem.



Obrázek 8- Historická mapa umístění objektu [5]

### 3.3. Obecný popis objektu

Objekt se skládá ze čtyř nadzemních podlaží, přičemž dvě podlaží jsou tvořeny krovem. V budově se nenachází žádné dělicí příčky ani vnitřní nosné stěny. Obvodové stěny budovy jsou tvořeny smíšeným zdivem z cihel a kamene, zdivo bylo dodatečně omítnuto.

Vstup do budovy je pouze jeden a ten se nachází na západní straně budovy v úrovni upraveného terénu. Jednotlivá patra jsou spojena dřevěným dvouramenným schodištěm. Okenní výplně jsou menší a jsou tvořeny dřevěnými okenicemi, které jsou vyplněny ocelovými mřížemi a šestihranným pletivem.

Konstrukce stropu je tvořena jednoduchou stropní konstrukcí z dřevěných trámů a podlaha je tvořena dřevěnými fošnami. Konstrukce krovu je z hraněného řeziva a je tvořena ležatou stolicí. Budova je zastřešena sedlovou střechou s valbovými vikýři. V nejbližší době bude probíhat rekonstrukce střešního pláště. V budově se nenachází sociální zařízení jelikož dříve sloužila pro průmyslové účely.

### 3.4. Technický popis objektu

Tato kapitola je věnovaná bližšímu popisu jednotlivých konstrukcí budovy.

#### 3.4.1. Konstrukce krovu

V případě řešeného objektu se setkáváme s vyspělým barokním krovem vaznicové soustavy. Jde o ležatou stolicí, kde se upustilo od vazních trámů a podpurných sloupků. Zavětrování krovu je řešeno hambálkem v jedné úrovni, kleštinami v nejvyšším patře budovy a propojeným systémem ondřejských křížů [6]. Spoje jednotlivých prvků jsou provedeny s minimálním použitím kovových spojovacích prvků. Jsou použity tradiční spoje jako například čepování, plátování a kampování [7].





*Obrázek 11- konstrukce krovu objektu*



*Obrázek 10- řešení podepření krovu*



*Obrázek 9- Nejvyšší patro budovy*



Jedná se krov vaznicové soustavy. Tato soustava dostala své jméno od vodorovně kladených vaznic, které podpírají krokve ve vzdálenost 3,5 – 4,5 m. Dvojice krokví se spojují v hřebeni střechy čepem nebo přeplátováním u slabších krokví. Vaznice jsou podporovány sloupky a vzpěrami, které se na spodním konci začepují do vodorovných trámů, které se nazývají vazní nebo hlavní trámy. Vazní trámy se umísťují do nosných stěn budovy, které mají tloušťku alespoň 45 cm a musí být umístěny 8 cm nad podlahou půdy. Vaznice je obdélníkového tvaru o rozměrech 15 x 17 cm – 18 x 20 cm. Průřez krokví je rovněž obdélníkového tvaru o rozměrech 10 x 13 cm, 12 x 15 cm, 13 x 16 cm a osedlávají vaznici rovně [8].

U barokních staveb se začaly ležaté vaznicové soustavy objevovat ve druhé polovině 17.století. S postupem času, se tyto soustavy dále zdokonalovaly a vyvíjely. Starší prvky však přetrvávaly dlouhou dobu, převážně ve venkovském prostředí, až do 18 století, jako například páteční vzpěry, přesahy pásků a oddělení rozpěr od hambálek, zavětrování diagonálami či ondřejskými kříži přetrvávalo až do 19. století. Až do první poloviny 18.století se ojediněle vyskytují i typické renesanční varianty vyvěšených sloupků, které fungovaly pouze pro upevnění zavětrovacích diagonál a ponechávaly tak volný prostor v “přízemí“ krovu [6].

U vyspělé barokní stolice se začal uplatňovat tzv. podélný systém zavětrování v bočních rovinách šikmých sloupků s ondřejskými kříži nebo jednoduššími diagonálami, u krovů většího rozsahu s prahovými nebo dalšími pomocnými vaznicemi [6].

#### 3.4.2. Konstrukce stropu

Jedná se o jednoduchý trámový strop tvořený spojitými trámy o dvou polích a o rozměrech hrany trámu 23x28 cm, na kterých jsou umístěny fošny o výšce 4 cm. Uprostřed rozpětí trámů se nachází středový průvlak, který slouží jako podpora uprostřed nosníku. Průvlak je podporován sloupky s pásky. Sloupy v jednotlivých paterech budovy jsou umístěny nad sebou, tak aby bylo zatížení přenášeno přímo do podloží budovy. Tento druh stropu se v minulosti nejčastěji používal pro průmyslové budovy [8].

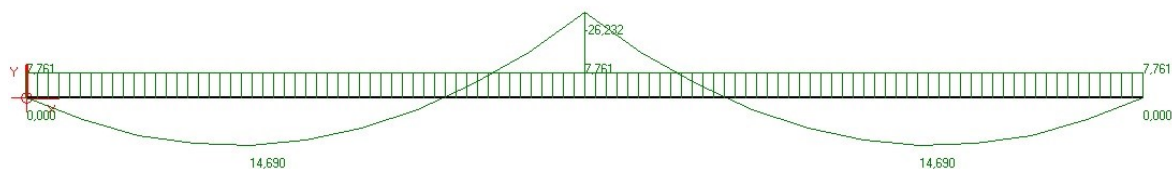


*Obrázek 13- Foto stropní konstrukce ve 2NP*



*Obrázek 12- Podepření průvlaku u stropní konstrukce ve 2NP*

Dále bylo vyhotoveno schéma statických momentů u stropního trámu. Pro výpočet proměnného zatížení byl použit Eurokód 6. Jedná se o kategorii C3 [9]. Dále je potřeba vypočítat stálé zatížení, kde je potřeba zohlednit vlastní tíhu dané konstrukce.



Obrázek 14- Statické schéma stropního nosníku (vytvořeno pomocí programu SCIPIO)

### 3.5. Stavebně-technický průzkum objektu

#### 3.5.1. Předběžný stavebně technický průzkum dřevěných konstrukcí

Jako první byl proveden předběžný průzkum, při kterém bylo zjištěno několik vad a poruch.

##### *Vizuální prohlídka*

Při vizuální prohlídce objektu bylo patrné, že některé dřevěné prvky byly vyměněny za nové. Dále bylo zjištěno poškození dřevěných konstrukcí dřevokaznou houbou, které se bohužel začalo projevovat i na nově vyměněných prvcích. Napadení se projevuje bílo-hnědými



Obrázek 15- Napadení dřevěné krokve  
Dřevomorkou domácí



*Obrázek 16- Poškození konstrukce krovu Dřevomorkou domácí*



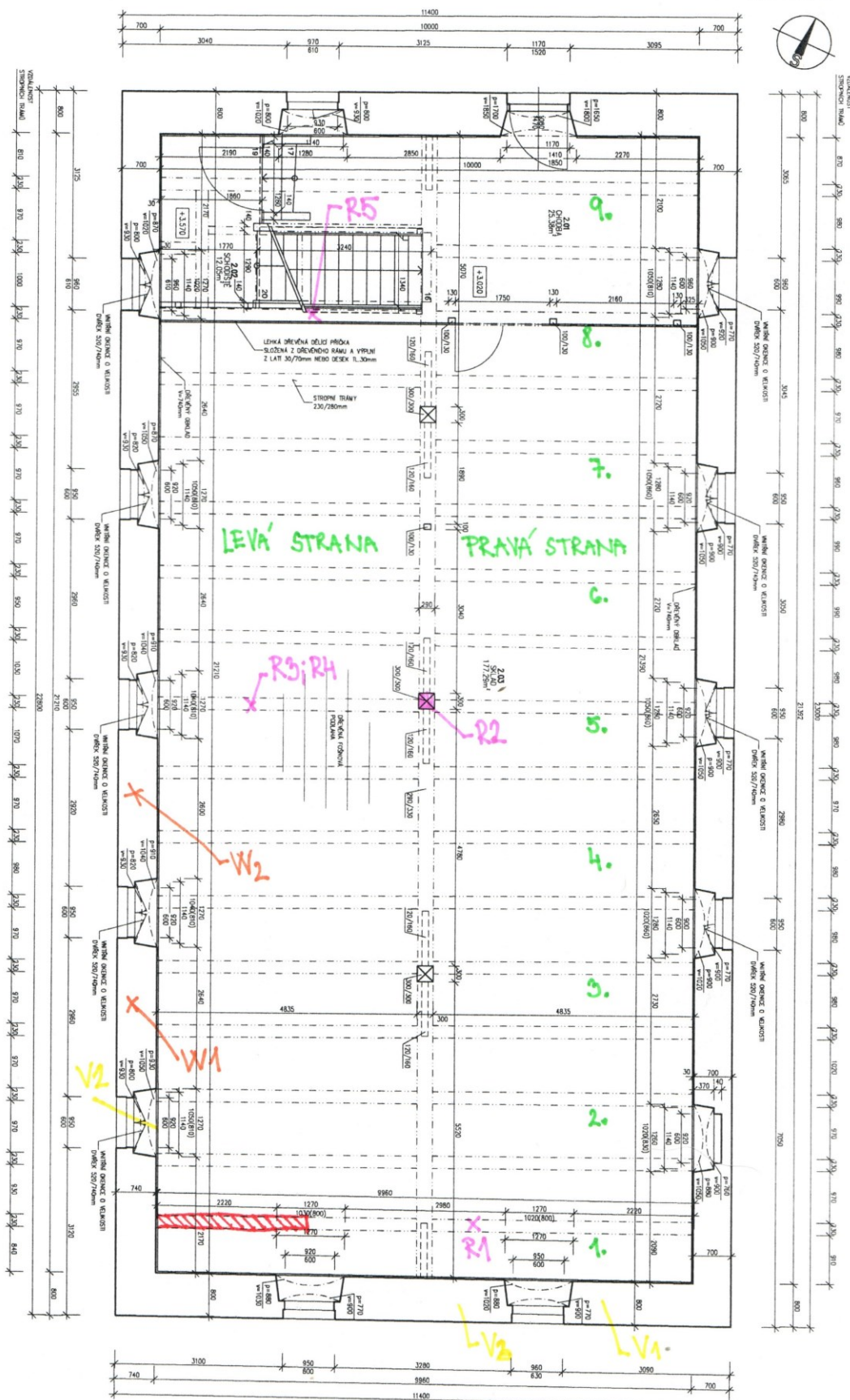
*Obrázek 17- Napadení u nosné obvodové stěny Dřevomorkou domácí*

skvrnami na povrchu dřevěných prvků (viz. obrázek č.15 a č.16). Podle všeho jde o napadení dřevomorkou domácí. Jedná se o suchou hnilobu dřeva [10].

Dřevomorka domácí se vyskytuje především na jehličnatém dřevu. Jedná se o nejvýznamnější dřevokaznou houbu, která způsobuje velmi rozsáhlé škody. U prvků s vysokým procentem vlhkosti se projevuje hnědou hnilobou dřeva, zpravidla hlubokými prasklinami napříč dřevěným vláknům, lehčí objemovou hmotností a dřevo se lehce drolí mezi prsty. Při suché hnilobě tvoří hedvábně bílou pokrývkou nebo vatové polštáře se skvrnami ve žluté, nebo světle fialové barvě, pokud je konstrukce vystavena světlu. Během období aktivního růstu tvoří dozrávající okraje houbových vláken s třásňovitým okrajem. V méně vlhkých podmínkách tvoří tenkou šedou vrstvu. Dřevomorka se obvykle vyskytuje u dřevěných prvků, které jsou umístěny do mokrého cihlového zdiva. Plodnice se právě nachází ve spojích dřeva a zdi. Nejlépe se jí daří ve vlhkém prostředí a nemá příliš ráda proměnlivé podmínky. Dokáže také prorůst do vlhkého zdiva, kterým se dokáže také transportovat i do suchého dřeva [10].



M=1:50



Obrázek 18- Půdorys stropní konstrukce ve 2NP a zakreslení míst odběrů zkušebních vzorků

### *Měření vlhkosti kapacitním vlhkoměrem*

Jako další porucha byla zaznamenána vyšší vlhkost jižní stěny, která je výrazně viditelná v exteriéru viz. Obr č.19. Vlhkost byla měřena kapacitním vlhkoměrem na straně interiéru měřená místa označená na obrázku č.18 oranžově jako W1 a W2. a průměrná hodnota vlhkosti se rovná 3,9 %. Naměřené hodnoty jsou v tabulce č. 1 a v tabulce č.2.



*Obrázek 19- Fotografie vlhké jižní stěny budovy*

*Tabulka 1- Měření kapacitním vlhkoměrem u cihlového zdiva v místě označení místě W1*

Naměřené hodnoty [%]									Průměr [%]
3,0	4,2	4,5	5,8	5,9	3,1	5,0	3,2	1,2	4,0

*Tabulka 2- Měření kapacitním vlhkoměrem u cihlového zdiva v místě označení W2*

Naměřené hodnoty [%]													Průměr [%]
3,5	4,7	3,1	2,1	3,3	3,5	4,5	5,1	4,6	3,6	4,4	4,1	3,1	3,8

### *Měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem*

Jako další byly měřeny vlhkosti u dřevěného stropu odporovým vlhkoměrem ve 2 NP. Na obrázku č. 18 označení vzorků zelenou barvou. Konkrétně byly měřeny vlhkosti u každého druhého stropního nosníků. Průměrná hodnota vlhkosti je rovna 18,2 %. Hodnota vlhkosti dřevěných nosníků v interiéru by se měla pohybovat v rozmezí do 15 % vlhkosti. Naměřená hodnota je vyšší, než tolerovaná vlhkost a blíží se 19% vlhkosti, což je vlhkost již vyhovující pro napadení dřevomorkou domácí a dřevo je tedy náchylnější ke vzniku dřevokazných hub. Nejvyšší hodnota byla naměřena u vzorku, který byl následně použit pro další laboratorní zkoušky a to 25 %.

*Tabulka 3- Hodnoty naměřené odporovým vlhkoměrem u dřevěných nosníků ve 2.NP.*

Označení prvku	Vlhkost prvku uprostřed rozpětí [%]		Vlhkost prvku v místě uložení [%]	
	Levá strana	Pravá strana	Levá strana	Pravá strana
1	Vzorek odebrán pro laboratorní posudek	17,8	Vzorek odebrán pro laboratorní posudek	19,0
2	16,8	17,5	14,8	21,0
3	18,5	17,5	19,5	18,3
4	18,6	16,8	18,9	18,3
5	16,1	18,3	17,0	17,2
6	19,6	17,9	Neměřeno	19,2
7	16,6	18,4	17,4	18,5
8	19,0	17,3	14,4	19,1
9	19,7	20,9	21,1	19,5
Průměr hodnot	18,1	18,1	17,6	18,9

### Měření přístrojem Pilodyn J6

Dále byla měřena hloubka penetrace přístrojem Pilodyn J6 u dřevěných trámů ve 2NP. Označí trámů je uvedeno na obrázku č. 18 zelenou barvou.

Tabulka 4- Hodnoty naměřené přístrojem Pilodyn J6 uprostřed dřevěných stropních nosníků ve 2NP

Označení prvku	Hloubka penetrace [m]	
	Levá strana	Pravá strana
1	Vzorek odebrán pro laboratorní posudek	10,0
2	7,0	11,0
3	6,0	14,0
4	5,0	8,0
5	9,0	8,0
6	4,0	10,0
7	6,0	6,0
8	7,0	7,0
9	10,0	6,0
Průměr hodnot	6,8	8,8

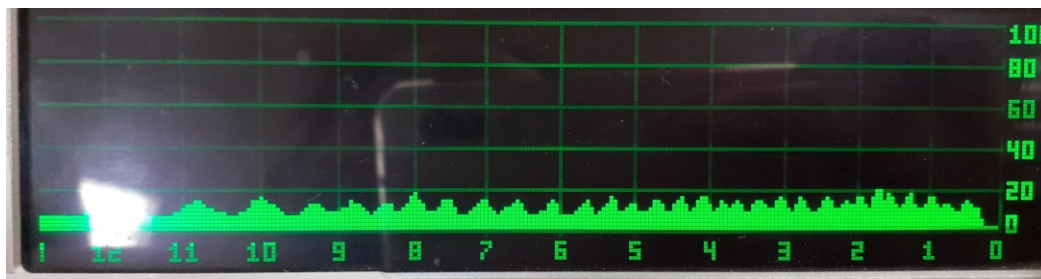
Tabulka 5- Hodnoty naměřené přístrojem Pilodyn J6 v místě uložení dřevěných stropních nosníků ve 2NP

Označení prvku	Hloubka penetrace [m]	
	Levá strana	Pravá strana
1	Vzorek odebrán pro laboratorní posudek	5,0
2	7,0	10,0
3	10,0	4,0
4	7,0	14,0
5	6,0	9,0
6	Neměřeno	6,0
7	7,0	12,0
8	7,0	10,0
9	12,0	9,0
Průměr hodnot	8,0	9,3

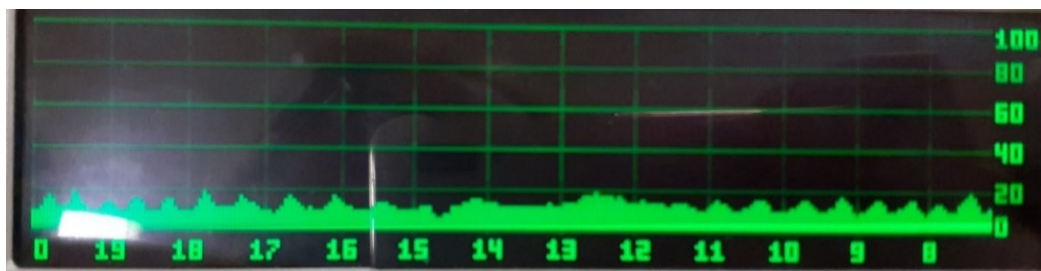


## Měření přístrojem Resistograph PD 200

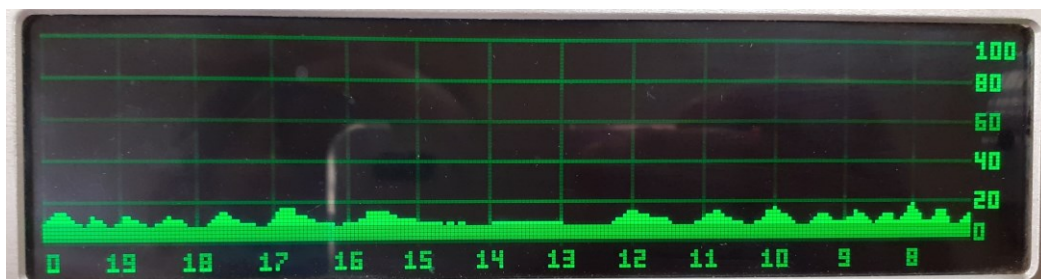
Nádledně bylo provedeno měření pomocí přístroje Resistograph PD 200. Označení provedených vrtů na obrázku č. 18 fialovou barvou (R1, R2, R3, R4, R5).



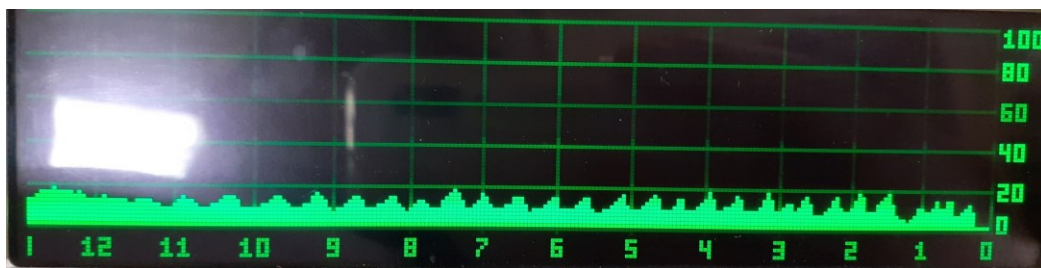
Obrázek 20- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R1



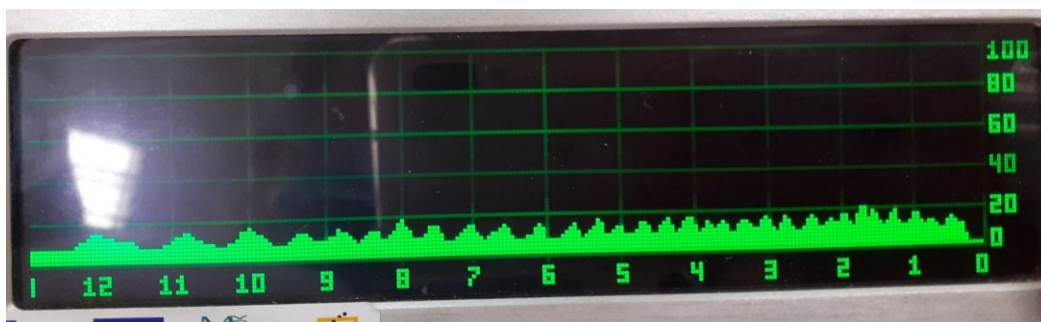
Obrázek 23- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R2



Obrázek 22- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R4



Obrázek 21- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R3



Obrázek 24- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R5

### 3.5.2. Podrobný stavebně technický průzkum dřevěných konstrukcí

Pro podrobný stavebně-technický průzkum byly odebrány vzorky ze stropní konstrukce ve 2 NP, odběr vzorků je označen na obrázku č.18 červenou barvou. Konkrétně byly odebrány dva vzorky nosného trámu o průřezu 23 x 28 cm a o délce 1 m. Z těchto vzorků byly následně nařezány menší tělesa pro potřeby prověření pevnosti dřeva v tlaku a v tahu za ohybu a modul pružnosti.

Dále byl ověřen stav souvisejících konstrukcí, zejména vlhkostní stav zdiva v místě uložení trámů.

#### *Gravimetrická metoda*

Měření gravimetrickou metodou bylo provedeno u třech obraných vzorků z cihelného zdiva, označení míst odběrů vzorků je zobrazeno na obrázku č.18 žlutou barvou. Dále byla provedena gravimetrická metoda u dřevěných vzorků zkoušených na pevnost dřeva v ohybu a pevnost dřeva v tlaku. U vzorků zkoušených v tlaku byla dále vypočítána také hustota a objem materiálu.

*Tabulka 6- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u cihelných vzorků (označení na obrázku č.18 žlutě)*

Označení vzorku	Hmotnost vzorku před vysušením [g]	Hmotnost vzorku po vysušení [g]	Obsah hmotnostní vlhkosti [%]
V1	667,5	580,8	15
V2	124,0	111,6	11
V3	2 513,8	2 499,9	1

*Tabulka 7- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na Pevnost v ohybu*

Suché:	Hmotnost mokré[g]	Hmotnost vysušené [g]	Obsah hmotnostní vlhkosti [%]
BUT-S-1	175,5	161	9
BUT-S-2	200,8	183,2	10
BUT-S-3	205,4	179,8	14
BUT-S-4	205,3	187	10
		Průměr	11

Tabulka 8- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na Pevnost v ohybu

Suché:	Hmotnost mokré[g]	Hmotnost vysušené [g]	Obsah hmotnostní vlhkosti [%]
BUT-S-1	225	205,4	10
BUT-S-2	216,6	197,2	10
BUT-S-3	240,6	219,2	10
BUT-S-4	190,4	173,6	10
		<b>Průměr</b>	<b>10</b>

Tabulka 9- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy ve do ustálené hmotnosti a byly zkoušeny na Pevnost v ohybu

Mokré:	Hmotnost mokré[g]	Hmotnost vysušené [g]	Obsah hmotnostní vlhkosti [%]
BUT-M-1	303,8	172,6	76
BUT-M-2	369,5	181,2	104
BUT-M-3	333,6	183	82
BUT-M-4	296,3	173,6	71
		<b>Průměr</b>	<b>83</b>

Tabulka 10- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti a byly zkoušeny na pevnost v ohybu

Mokré:	Hmotnost mokré[g]	Hmotnost vysušené [g]	Obsah hmotnostní vlhkosti [%]
BUT-M-1	289,9	166,2	74
BUT-M-2	280,1	177,6	58
BUT-M-3	314	184,4	70
BUT-M-4	285,7	167,4	71
		<b>Průměr</b>	<b>68</b>

Tabulka 11- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na pevnost v tlaku

Ozn. Vzorku	m mokré[g]	Hmotnost vysušené	Vlhkost tělesa w [%]	m vysušené [kg]	Objem [m3]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]
A1	5,2	4,8	8	0,004800	1,15264E-05	416
A2	5,2	4,7	11	0,004700	1,17801E-05	399
A3	4,8	4,4	9	0,004400	1,19517E-05	368
A4	5,5	5,1	8	0,005100	1,16878E-05	436
A5	4,7	4,3	9	0,004300	1,19738E-05	359
A6	5,1	4,7	9	0,004700	1,18603E-05	396
A7	5,1	4,7	9	0,004700	1,18309E-05	397
A8	5,2	4,8	8	0,004800	1,13834E-05	422
A9	5,0	4,6	9	0,004600	1,10815E-05	415
A10	4,5	4,1	10	0,004100	1,19334E-05	344
A11	5,0	4,5	11	0,004500	1,20115E-05	375
A12	4,8	4,4	9	0,004400	1,21511E-05	362
A13	5,2	4,8	8	0,004800	1,18779E-05	404
A14	5,4	5,0	8	0,005000	1,20854E-05	414
A15	4,9	4,5	9	0,004500	1,14913E-05	392
A16	5,1	4,7	9	0,004700	1,22065E-05	385
A17	3,9	3,6	8	0,003600	1,18178E-05	305
A18	4,6	4,2	10	0,004200	1,18373E-05	355
A19	4,7	4,3	9	0,004300	1,18599E-05	363
A20	5,0	4,6	9	0,004600	1,18655E-05	388
A21	5,2	4,8	8	0,004800	1,16343E-05	413
A22	4,9	4,5	9	0,004500	1,13188E-05	398
A23	4,9	4,5	9	0,004500	1,15605E-05	389
A24	4,8	4,4	9	0,004400	1,15243E-05	382
A25	4,8	4,4	9	0,004400	1,16347E-05	378
A26	5,1	4,7	9	0,004700	1,17099E-05	401
A27	4,4	4,0	10	0,004000	1,08880E-05	367
A28	5,3	4,9	8	0,004900	1,17950E-05	415
A29	5,1	4,7	9	0,004700	1,14705E-05	410
A30	4,9	4,6	7	0,004600	1,16525E-05	395
A31	5,1	4,7	9	0,004700	1,17167E-05	401
A32	5,2	4,8	8	0,004800	1,20975E-05	397
A33	4,8	4,4	9	0,004400	1,20910E-05	364
A34	4,8	4,4	9	0,004400	1,18233E-05	372
A35	5,4	5,0	8	0,005000	1,09350E-05	457
A36	4,9	4,6	7	0,004600	1,13779E-05	404
A37	5,2	4,8	8	0,004800	1,21423E-05	395
A38	4,5	4,2	7	0,004200	1,14821E-05	366
A39	5,1	4,7	9	0,004700	1,20035E-05	392
A40	5,3	4,9	8	0,004900	1,18745E-05	413
		Průměr	9			Průměr
						390

Tabulka 12- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na pevnost v tlaku

Ozn. Vzorku	m mokré [g]	Hmotnost vysušené	Vlhkost tělesa w [%]	m vysušené [kg]	Objem [m3]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]
B1	4,8	4,5	7	0,0045	1,20361E-05	374
B2	4,6	4,3	7	0,0043	1,16259E-05	370
B3	4,4	4,1	7	0,0041	1,14067E-05	359
B4	4,4	4,1	7	0,0041	1,18799E-05	345
B5	4,4	4,0	10	0,004	1,21167E-05	330
B6	5,0	4,7	6	0,0047	1,15465E-05	407
B7	4,5	4,2	7	0,0042	1,14917E-05	365
B8	5,0	4,6	9	0,0046	1,14051E-05	403
B9	4,4	4,1	7	0,0041	1,20207E-05	341
B10	4,7	4,4	7	0,0044	1,19928E-05	367
B11	5,0	4,6	9	0,0046	1,81244E-05	254
B12	4,1	3,8	8	0,0038	1,13607E-05	334
B13	4,9	4,6	7	0,0046	1,19457E-05	385
B14	4,7	4,4	7	0,0044	1,21335E-05	363
B15	4,8	4,5	7	0,0045	1,15176E-05	391
B16	4,6	4,3	7	0,0043	1,16663E-05	369
B17	5,1	4,8	6	0,0048	1,18116E-05	406
B18	5,0	4,6	9	0,0046	1,16243E-05	396
B19	4,6	4,3	7	0,0043	1,19331E-05	360
B20	5,0	4,7	6	0,0047	1,17054E-05	402
B21	4,1	3,8	8	0,0038	1,18333E-05	321
B22	4,5	4,2	7	0,0042	1,17409E-05	358
B23	4,5	4,2	7	0,0042	1,29547E-05	324
B24	4,6	4,3	7	0,0043	1,16349E-05	370
B25	5,1	4,7	9	0,0047	1,22147E-05	385
B26	4,6	4,2	10	0,0042	1,20327E-05	349
B27	5,3	4,9	8	0,0049	1,26387E-05	388
B28	4,9	4,5	9	0,0045	1,23725E-05	364
B29	5,0	4,6	9	0,0046	1,17741E-05	391
B30	4,4	4,1	7	0,0041	1,21757E-05	337
B31	4,5	4,2	7	0,0042	1,21345E-05	346
B32	5,3	4,9	8	0,0049	1,13811E-05	431
B33	4,5	4,2	7	0,0042	1,15646E-05	363
B34	4,7	4,3	9	0,0043	1,19742E-05	359
B35	4,9	4,6	7	0,0046	1,21271E-05	379
B36	4,6	4,3	7	0,0043	1,1584E-05	371
B37	4,7	4,4	7	0,0044	1,21573E-05	362
B38	4,3	4,0	8	0,004	1,13901E-05	351
B39	5,0	4,6	9	0,0046	1,16453E-05	395
B40	4,8	4,5	7	0,0045	1,19993E-05	375
		Průměr	8		Průměr	366

Tabulka 13- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy ve vodě do ustálení hmotnosti a byly zkoušeny na pevnost v tlaku

Ozn. Vzorku	m [g]	Hmotnost [g]	Vlhkost tělesa w [%]	m vysušené [kg]	Objem [m3]	Hustota [kg/m³]
A41	8,7	4,4	98	0,0044	1,28918E-05	341
A42	8,4	4,9	71	0,0049	1,34902E-05	363
A43	7,9	4,5	76	0,0045	1,23544E-05	364
A44	7,0	4,6	52	0,0046	1,22632E-05	375
A45	8,8	4,6	91	0,0046	1,29915E-05	354
A46	7,8	4,8	63	0,0048	1,35754E-05	354
A47	9,3	4,1	127	0,0041	1,17996E-05	347
A48	7,8	4,8	63	0,0048	1,36383E-05	352
A49	9,0	4,8	88	0,0048	1,27235E-05	377
A50	6,4	3,8	68	0,0038	1,15567E-05	329
A51	6,7	4,9	37	0,0049	1,19818E-05	409
A52	8,8	4,0	120	0,0040	1,30883E-05	306
A53	6,9	4,2	64	0,0042	1,13727E-05	369
A54	7,5	4,3	74	0,0043	1,24617E-05	345
A55	8,3	4,7	77	0,0047	1,32823E-05	354
A56	8,3	4,8	73	0,0048	1,28415E-05	374
A57	8,5	4,4	93	0,0044	1,18623E-05	371
A58	6,2	3,8	63	0,0038	1,78837E-05	212
A59	8,1	4,5	80	0,0045	1,30710E-05	344
A60	7,2	4,3	67	0,0043	1,28681E-05	334
A61	8,6	4,9	76	0,0049	1,31990E-05	371
A62	8,5	4,0	113	0,0040	1,28729E-05	311
A63	7,1	4,7	51	0,0047	1,30746E-05	359
A64	8,9	4,0	123	0,0040	1,21394E-05	330
A65	7,1	4,4	61	0,0044	1,27133E-05	346
A66	8,0	4,4	82	0,0044	1,29337E-05	340
A67	7,4	4,1	80	0,0041	1,16968E-05	351
A68	7,1	3,7	92	0,0037	1,17005E-05	316
A69	9,7	4,4	120	0,0044	1,24647E-05	353
A70	7,5	4,3	74	0,0043	1,27426E-05	337
A71	7,8	4,5	73	0,0045	1,20213E-05	374
A72	7,7	4,3	79	0,0043	1,28411E-05	335
A73	7,9	4,1	93	0,0041	1,26223E-05	325
A74	9,0	4,6	96	0,0046	1,31484E-05	350
A75	8,5	4,8	77	0,0048	1,29693E-05	370
A76	7,9	4,6	72	0,0046	1,31382E-05	350
A77	7,9	4,8	65	0,0048	1,27869E-05	375
A78	7,9	4,3	84	0,0043	1,23185E-05	349
A79	6,9	4,5	53	0,0045	1,30455E-05	345
A80	8,0	4,9	63	0,0049	1,33565E-05	367
		Průměr	79		Průměr	348

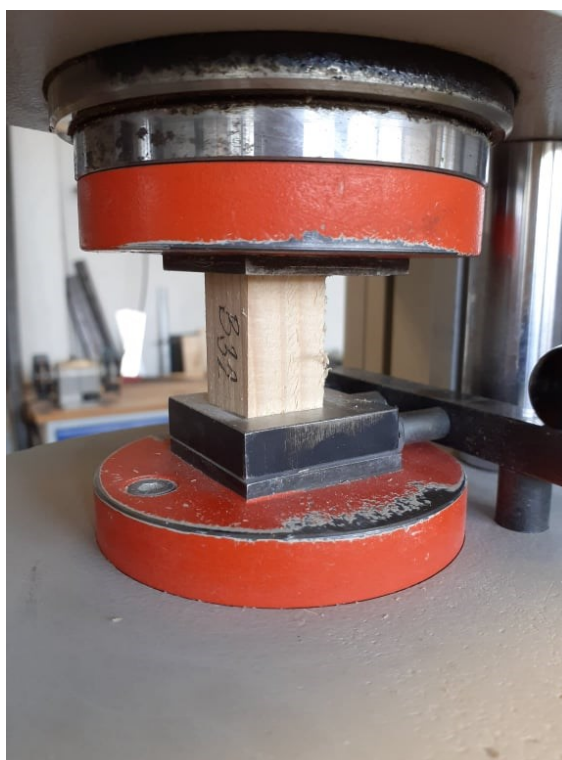


Tabulka 14- Tabulka 13- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy ve vodě do ustálení hmotnosti a byly zkoušeny na pevnost v tlaku

Ozn. Vzorku	m mokeré[g]	Hmotnost vysušené [g]	Vlhkost tělesa w [%]	m vysušené [kg]	Objem [m3]	Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]
B41	7,2	4,5	60	0,0045	1,29272E-05	348
B42	8,4	5,2	62	0,0052	1,45827E-05	357
B43	6,4	4,1	56	0,0041	1,24363E-05	330
B44	7,0	4,4	59	0,0044	1,30354E-05	338
B45	6,3	3,9	62	0,0039	1,23994E-05	315
B46	6,6	4,0	65	0,004	1,23287E-05	324
B47	8,3	4,6	80	0,0046	1,27885E-05	360
B48	6,9	4,3	60	0,0043	1,32922E-05	323
B49	8,4	4,8	75	0,0048	1,33194E-05	360
B50	6,9	4,5	53	0,0045	1,31733E-05	342
B51	7,1	4,4	61	0,0044	1,30498E-05	337
B52	8,4	4,2	100	0,0042	1,32802E-05	316
B53	8,1	4,0	103	0,004	1,29889E-05	308
B54	8,1	4,3	88	0,0043	1,25914E-05	342
B55	7,1	4,0	78	0,004	1,28889E-05	310
B56	7,4	4,5	64	0,0045	1,36342E-05	330
B57	7,4	4,7	57	0,0047	1,34939E-05	348
B58	9,0	4,6	96	0,0046	1,28033E-05	359
B59	7,6	4,5	69	0,0045	1,32094E-05	341
B60	7,3	4,7	55	0,0047	1,33745E-05	351
B61	6,7	4,0	68	0,004	1,29087E-05	310
B62	7,9	4,0	98	0,004	1,20769E-05	331
B63	7,2	4,5	60	0,0045	1,32052E-05	341
B64	7,3	4,2	74	0,0042	1,29699E-05	324
B65	8,2	4,5	82	0,0045	1,88256E-05	239
B66	6,4	3,9	64	0,0039	1,26E-05	310
B67	9,2	4,6	100	0,0046	1,29345E-05	356
B68	7,7	4,1	88	0,0041	1,27645E-05	321
B69	9,0	5,1	76	0,0051	1,4414E-05	354
B70	6,8	4,2	62	0,0042	1,32211E-05	318
B71	6,9	3,9	77	0,0039	1,27012E-05	307
B72	7,9	4,7	68	0,0047	1,35085E-05	348
B73	9,6	4,7	104	0,0047	1,38509E-05	339
B74	7,1	4,5	58	0,0045	1,2288E-05	366
B75	6,6	4,1	61	0,0041	1,34137E-05	306
B76	8,5	5,1	67	0,0051	1,44099E-05	354
B77	8,8	4,9	80	0,0049	1,41106E-05	347
B78	7,1	3,9	82	0,0039	1,31176E-05	297
B79	6,7	3,8	76	0,0038	1,29012E-05	295
B80	10,0	4,8	108	0,0048	1,41535E-05	339
		Průměr	74		Průměr	331

### *Zkoušení pevnosti dřevěných prvků v tlaku ve směru vláken*

Z odebraných vzorků dřeva bylo nařezáno několik menších těles o rozměrech přibližně 2x2x3 cm. Z každého odebraného tělesa (označení těles A, B, vzorek A se nacházel blíže obvodové konstrukci budovy) bylo nařezáno 80 zkušebních vzorků pro potřebu zkoušení v laboratorním prostředí. 40 vzorků z každého tělesa bylo zkoušeno v suchém stavu a dalších 40 bylo zkoušeno v plně nasyceném stavu vodou. Následně byla zkušební tělesa umístěna do sušárny a po ustálení hmotnosti byla zvážena pro potřebu provedení gravimetrické metody.



*Obrázek 24- Zatěžování zkušebního prvku v tlaku*



Tabulka 15- Hodnoty zaznamenané při měření dřevěných prvků ze vzorku A, zkušební prvky byly uloženy v laboratorním prostředí

Ozn. Vzorku	a [mm]	b[mm]	c[mm]	zatížení [kN]	Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]	Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při 12% vlhkosti [Mpa]
A1	19,69	19,25	30,41	20,4	53,9	52,5
A2	19,52	19,95	30,25	19,9	51,0	50,6
A3	19,88	19,75	30,44	18,8	47,9	46,9
A4	19,23	19,83	30,65	21,8	57,2	55,6
A5	19,90	19,97	30,13	15,3	38,4	37,7
A6	19,92	19,65	30,30	20,7	52,9	51,6
A7	19,76	19,76	30,30	20,7	53,0	51,7
A8	19,24	19,52	30,31	19,8	52,7	51,4
A9	19,05	19,23	30,25	19,9	54,2	53,0
A10	19,83	19,92	30,21	16,8	42,5	41,8
A11	20,51	19,36	30,25	18,8	47,3	47,1
A12	19,57	20,12	30,86	19,0	48,2	47,2
A13	19,70	19,84	30,39	20,1	51,5	50,1
A14	19,86	20,11	30,26	17,6	44,0	42,7
A15	19,70	19,36	30,13	19,5	51,2	50,0
A16	19,95	20,24	30,23	21,3	52,7	51,4
A17	19,81	19,63	30,39	14,9	38,3	37,3
A18	19,82	19,75	30,24	17,3	44,1	43,4
A19	19,58	20,07	30,18	18,4	46,8	45,9
A20	19,46	20,13	30,29	18,0	45,8	44,8
A21	19,54	19,67	30,27	21,9	56,9	55,4
A22	19,35	19,35	30,23	13,4	35,9	35,1
A23	19,58	19,74	29,91	19,7	50,9	49,8
A24	19,17	19,86	30,27	18,4	48,3	47,3
A25	19,55	19,68	30,24	18,9	49,2	48,2
A26	19,84	19,55	30,19	20,0	51,6	50,4
A27	18,81	19,11	30,29	8,9	24,7	24,4
A28	19,97	19,48	30,32	20,9	53,7	52,3
A29	19,24	19,65	30,34	20,0	52,8	51,6
A30	19,84	19,48	30,15	16,9	43,7	42,0
A31	19,73	19,69	30,16	19,1	49,3	48,1
A32	19,87	20,14	30,23	16,9	42,2	41,1
A33	20,25	19,85	30,08	18,5	46,0	45,1
A34	20,02	19,64	30,07	18,7	47,6	46,6
A35	18,76	19,13	30,47	17,1	47,6	46,3
A36	19,06	19,76	30,21	18,1	48,1	46,2
A37	19,97	20,12	30,22	16,5	41,0	40,0
A38	19,38	19,56	30,29	16,4	43,3	41,9
A39	19,89	19,97	30,22	15,2	38,3	37,3
A40	19,85	19,73	30,32	20,6	52,5	51,1
				Průměr	47,4	46,3

Tabulka 16- Hodnoty zaznamenané při měření dřevěných prvků ze vzorku B, zkušební prvky byly uloženy v laboratorním prostředí

Ozn. Vzorku	a [mm]	b[mm]	c[mm]	Zatížení [kN]	Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]	Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny při 12% vlhkosti [Mpa]
B1	20,26	19,51	30,45	19,8	50,0	48,1
B2	19,08	20,07	30,36	15,4	40,2	38,8
B3	19,19	19,54	30,42	17,6	46,9	45,4
B4	19,33	20,29	30,29	17,1	43,6	42,2
B5	19,37	20,55	30,44	10,9	27,4	27,0
B6	19,16	19,83	30,39	20,1	52,8	50,7
B7	19,13	19,78	30,37	11,2	29,6	28,6
B8	19,50	19,47	30,04	21,0	55,3	54,0
B9	20,44	19,39	30,33	17,8	45,0	43,5
B10	20,08	19,64	30,41	19,6	49,7	47,9
B11	29,85	19,96	30,42	20,0	33,5	32,8
B12	19,45	19,22	30,39	16,5	44,1	42,9
B13	19,30	20,34	30,43	19,2	49,0	47,1
B14	20,02	19,93	30,41	19,5	48,9	47,1
B15	19,57	19,43	30,29	19,9	52,4	50,5
B16	19,70	19,41	30,51	18,3	47,8	46,1
B17	20,65	18,94	30,20	20,9	53,4	51,3
B18	19,61	19,57	30,29	20,6	53,6	52,4
B19	19,16	20,38	30,56	18,1	46,3	44,7
B20	19,22	20,06	30,36	18,6	48,2	46,3
B21	19,21	20,33	30,30	16,5	42,2	41,0
B22	20,00	19,26	30,48	17,9	46,5	44,9
B23	20,05	21,24	30,42	17,8	41,8	40,4
B24	19,65	19,49	30,38	18,2	47,6	46,0
B25	19,64	20,58	30,22	21,0	52,0	50,7
B26	20,42	19,39	30,39	18,7	47,2	46,4
B27	20,25	20,45	30,52	18,3	44,3	43,1
B28	19,86	20,52	30,36	19,2	47,1	46,1
B29	19,60	19,78	30,37	19,5	50,3	49,1
B30	19,89	20,27	30,20	14,6	36,2	35,0
B31	20,52	19,51	30,31	18,3	45,7	44,2
B32	19,00	19,73	30,36	17,8	47,5	46,2
B33	19,49	19,24	30,84	17,7	47,2	45,6
B34	19,75	19,97	30,36	18,6	47,3	46,4
B35	20,24	19,69	30,43	18,9	47,3	45,5
B36	19,18	19,90	30,35	18,1	47,5	45,8
B37	19,92	20,01	30,50	15,8	39,6	38,2
B38	18,88	19,78	30,50	17,0	45,6	44,2
B39	19,41	19,84	30,24	20,4	52,9	51,7
B40	19,89	19,93	30,27	19,4	48,9	47,1
				Průměr	46,1	44,6

Tabulka 17- Hodnoty zaznamenané při měření v tlaku dřevěných prvků ze vzorku A, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti

Ozn. Vzorku	a [mm]	b[mm]	c[mm]	Zatížení [kN]	Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny[MPa]
A41	20,59	20,63	30,35	6,5	15,3
A42	21,39	20,57	30,66	8,1	18,4
A43	20,01	20,19	30,58	7,7	19,1
A44	20,19	19,98	30,40	8,7	21,6
A45	20,24	21,17	30,32	7,7	18,0
A46	21,89	20,36	30,46	8,9	20,0
A47	20,19	19,32	30,25	6,2	15,9
A48	22,29	20,22	30,26	8,7	19,3
A49	20,24	20,74	30,31	7,3	17,4
A50	20,02	19,02	30,35	6,6	17,3
A51	20,34	19,48	30,24	6,8	17,2
A52	21,23	20,36	30,28	8	18,5
A53	20,04	18,81	30,17	7,2	19,1
A54	20,67	19,95	30,22	7,1	17,2
A55	20,40	21,16	30,77	8,2	19,0
A56	20,37	20,71	30,44	8,1	19,2
A57	18,81	20,82	30,29	6,6	16,9
A58	19,90	29,63	30,33	6,3	10,7
A59	20,33	21,08	30,50	7,4	17,3
A60	20,22	20,90	30,45	7,4	17,5
A61	21,28	20,43	30,36	8,4	19,3
A62	20,53	20,66	30,35	5,8	13,7
A63	20,38	21,18	30,29	8,6	19,9
A64	19,76	20,07	30,61	5,7	14,4
A65	20,36	20,52	30,43	7,9	18,9
A66	20,39	20,77	30,54	7	16,5
A67	19,92	19,29	30,44	7,1	18,5
A68	20,24	18,96	30,49	6,3	16,4
A69	19,93	20,58	30,39	5,4	13,2
A70	20,03	20,79	30,60	7,5	18,0
A71	20,25	19,56	30,35	8,1	20,4
A72	20,18	20,87	30,49	7	16,6
A73	20,29	20,43	30,45	7,1	17,1
A74	20,52	21,05	30,44	7,4	17,1
A75	19,60	22,02	30,05	8,4	19,5
A76	21,20	20,48	30,26	7,5	17,3
A77	20,48	20,64	30,25	8,1	19,2
A78	20,13	20,11	30,43	6,5	16,1
A79	20,68	20,71	30,46	7,9	18,4
A80	21,86	20,00	30,55	8,7	19,9
				Průměr	17,6

Tabulka 18- Hodnoty zaznamenané při měření v tlaku dřevěných prvků ze vzorku B, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti

Ozn. Vzorku	a [mm]	b[mm]	c[mm]	Zatížení [kN]	Mez pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny[MPa]
B41	19,76	21,52	30,40	8,2	19,3
B42	21,03	22,81	30,40	9,1	19,0
B43	20,04	20,36	30,48	6,8	16,7
B44	21,40	20,09	30,32	7,5	17,4
B45	19,92	20,55	30,29	6,8	16,6
B46	20,10	20,29	30,23	7,2	17,7
B47	21,27	19,83	30,32	8,5	20,2
B48	20,22	21,49	30,59	6,7	15,4
B49	20,40	21,33	30,61	7,6	17,5
B50	21,20	20,30	30,61	7,6	17,7
B51	21,23	20,24	30,37	7,4	17,2
B52	21,13	20,62	30,48	6,8	15,6
B53	20,05	21,31	30,40	7,0	16,4
B54	19,79	20,95	30,37	7,0	16,9
B55	20,21	21,02	30,34	7,1	16,7
B56	21,36	20,99	30,41	7,8	17,4
B57	22,04	20,10	30,46	8,7	19,6
B58	20,45	20,42	30,66	8,1	19,4
B59	21,69	20,02	30,42	8,4	19,3
B60	19,94	22,10	30,35	8,7	19,7
B61	20,14	21,07	30,42	7,0	16,5
B62	20,19	19,67	30,41	7,0	17,6
B63	21,76	19,91	30,48	8,1	18,7
B64	20,05	21,23	30,47	6,5	15,3
B65	20,67	29,93	30,43	8,1	13,1
B66	19,99	20,83	30,26	7,1	17,1
B67	21,46	19,82	30,41	8,4	19,7
B68	20,90	20,23	30,19	7,0	16,6
B69	22,87	20,78	30,33	8,9	18,7
B70	20,88	20,87	30,34	7,5	17,2
B71	20,03	20,77	30,53	6,7	16,1
B72	19,98	22,16	30,51	8,7	19,6
B73	21,66	20,98	30,48	7,9	17,4
B74	20,17	20,06	30,37	8,2	20,3
B75	20,21	21,84	30,39	7,3	16,5
B76	23,10	20,69	30,15	8,9	18,6
B77	22,51	20,60	30,43	8,8	19,0
B78	20,68	20,90	30,35	7,0	16,2
B79	20,82	20,37	30,42	6,9	16,3
B80	21,17	21,87	30,57	8,1	17,5
				Průměr	17,6

### *Zkoušení dřevěných prvků na pevnost v ohybu*

Dále byly zkoušeny vzorky z odebraných trámů A, B. Dále se z těchto vzorků vytvořilo 16 menších těles o hraně přibližně 2\*4\*65 cm. Následně se u těles provedla zkouška na pevnost v ohybu a dále byl vypočítán také globální modul pružnosti a směrodatná odchylka u obou hodnot.



*Obrázek 25- Porušení zkušebního prvku zatěžováním v ohybu*

*Tabulka 19- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku A, vzorky byly uloženy v laboratorním prostředí*

Ozn. Vzorku	a [mm]	b [mm]	c [mm]	F[N]	Pevnost dřeva v ohybu [Mpa]	Globální modul pružnosti $E_{m,g}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
BUT-S-1	16,54	39,67	651	1380	14,47	7789,50
BUT-S-2	17,78	39,44	648	2740	27,05	6761,60
BUT-S-3	18,77	36,33	648	2800	30,86	8294,10
BUT-S-4	16,62	39,01	649	2440	26,34	6919,50
Směrodatný odchylka					6,14	629,04

Tabulka 20- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku B, vzorky byly uloženy v laboratorním prostředí

Ozn. Vzorku	a [mm]	b [mm]	c [mm]	F[N]	Pevnost dřeva v ohybu [Mpa]	Globální modul pružnosti $E_{m,g}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
BUT-S-1	19,33	40,47	648	3317	28,60	7097,90
BUT-S-2	19,92	40,45	648	3360	28,14	6838,20
BUT-S-3	20,2	39,77	648	2095	17,90	8365,30
BUT-S-4	19,49	40,33	598	2848	22,37	5792,20
Směrodatný odchylka					4,41	916,02

Tabulka 21- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku A, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti

Ozn. Vzorku	a [mm]	b [mm]	c [mm]	F[N]	Pevnost dřeva v ohybu [Mpa]	Globální modul pružnosti $E_{m,g}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
BUT-M-1	19,41	40,54	600	700	5,46	3772,50
BUT-M-2	19,07	40,52	648	1420	12,38	4787,50
BUT-M-3	17	40,09	651	1300	12,99	5193,60
BUT-M-4	20,63	39,87	598	1670	12,68	4306,10
Směrodatný odchylka					3,13	531,44

Tabulka 22- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku B, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti

Ozn. Vzorku	a [mm]	b [mm]	c [mm]	F[N]	Pevnost dřeva v ohybu [Mpa]	Globální modul pružnosti $E_{m,g}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
BUT-M-1	19,15	39,31	599	1539	12,95	3788,60
BUT-M-2	20,24	39,1	649	1610	14,20	5615,80
BUT-M-3	20,02	40,95	647	1590	12,93	9846,50
BUT-M-4	18,93	40,24	597	1670	13,57	4850,50
Směrodatný odchylka					0,52	2299,58

## 4. Hodnocení a závěr

Předmětem této práce bylo provedení stavebně-technického průzkumu v menším měřítku u historického objektu sýpky ve Velké Bystřici.

Na základě provedené vizuální prohlídky objektu byly stanoveny některé vady a poruchy a byl navrhnut další postup stavebně-technického průzkumu. Pro realizaci byly vybrány vhodné nedestruktivní, semidestruktivní a destruktivní diagnostické metody. Prostřednictvím diagnostického průzkumu byly stanoveny vlhkosti jednotlivých materiálů, pevnosti v tlaku, pevnosti v ohybu globální modul pružnosti, hustota a celková kvalita dřevěných prvků.

Průměrná vlhkost měřena kapacitním vlhkoměrem u jižní obvodové stěny vyšla u prvního měřeného místa 4% a u druhého 3,8 %, což se řadí nižší hodnotu vlhkosti. Za vyšší hodnoty vlhkosti považujeme hodnotu od 5% výše.

Při měření vlhkosti odporovým vlhkoměrem u dřevěných trámů ve 2 NP se hodnoty vlhkosti pohybovaly kolem 18% vlhkosti dřeva. Mezi měřením trámů uprostřed rozpětí a u obvodové stěny byl zaznamenán pouze nepatrný rozdíl hodnot. Každopádně hodnota vlhkosti 18 % je vyšší a u dřevěných prvků hrozí větší výskyt dřevokazných hub. Optimální hodnota vlhkosti dřevěných prvků by se měla pohybovat do 15 % vlhkosti.

Dále byla měřena hloubka penetrace přístrojem Pilodyn J6 u dřevěných stropních trámů ve 2 NP. Penetrace byla měřena uprostřed rozpětí a u obvodových zdí. Hodnoty penetrace uprostřed rozpětí byly menší než hodnoty naměřeny u obvodových konstrukcí. Z toho vyplývá, že dřevo u obvodových konstrukcí je měkčí nejspíše z důvodu vyšší vlhkosti.

Měření přístrojem Resistograph PD 200 nezaznamenalo žádné vzduchové dutiny uvnitř dřevěných konstrukcí. Na grafu je vyobrazena křivka, která znázorňuje jarní, měkčí část dřeva a letní, tvrdší část dřeva.

Následně byl prováděn podrobný stavebně-technický výzkum jehož součástí bylo provedení gravimetrické metody u cihelných a dřevěných prvků. U vzorků cihel byl hmotnostní obsah vlhkosti 15 %, 11 % a 1%. Nejvyšší obsah vlhkosti byl zaznamenán z odebraného vzorku z východní obvodové stěny v úrovni uložení stropní konstrukce. Dále byla gravimetrická metoda provedena u malých dřevěných prvků zkoušených na pevnost v ohybu. U prvků, které byly uloženy v laboratorním prostředí byl průměrný obsah hmotnostní vlhkosti 11% u vzorku A a 10% u vzorku B. U vzorků, které byly ponořeny ve vodě do ustálení hmotnosti byl obsah

hmotností vlhkosti u vzorku A 83 % a u vzorku B 68%. Dále byla provedena gravimetrická metoda u prvků zkoušených na pevnost v tlaku. Prvky nacházející se v laboratorním prostředí vykazovaly obsah hmotnostní vlhkosti u vzorku A 9 % a u vzorku B 8%, prvky ponořené ve vodě do ustálené hmotnosti vykazovaly u vzorku A 79% a u vzorku B 74 %. Dále byla u prvků určena hustota. Nejvyšší hodnota hustoty vyšla u prvků ze vzorků A, které byly uloženy v laboratorním prostředí a to  $390 \text{ kg/m}^3$ , tato hodnota je však nižší jelikož se jedná o jedlové dřevo u kterého se hustota pohybuje od 430 do  $560 \text{ kg/m}^3$ .

Následně byly měřeny dřevěné prvky na pevnost v tlaku. Nejvyšší mez pevnosti v tlaku byla vypočítána u prvků ze vzorku A, které byly uloženy v laboratorním prostředí a to 47,4 MPa. Dále v byla mez pevnosti v tlaku přepočítána na mez pevnosti v tlaku při 12 % procentní vlhkosti a ta se rovná 46,3 MPa. Prvky které byly ponořeny ve vodě do ustálení hmotnosti vykazovaly podstatně menší pevnosti.

Jako poslední byla měřena pevnosti prvků v ohybu u kterých byla následně vypočítána směrodatná odchylka. Největší směrodatná odchylka byla vypočítána u zkušebních prvků vytvořených ze vzorku A, které byly uloženy v laboratorním prostředí. Dále byl u vzorků vypočítán globální modul pružnosti a nejvyšší směrodatná odchylka byla vypočítána u vzorků B, které byly uloženy ve vodě a to 2299,58 MPa.

U posuzovaného dřevěného stropu bylo zjištěno několik významných vad a poruch. Nejvýznamnější poruchou je výskyt dřevomorky domácí ve všech dřevěných konstrukcích. Pokud nebude vyřešen tenhle problém, nemá význam měnit postupně staré dřevěné prvky za nové, jelikož dřevomorka se rychle rozšíří i do nově vyměněných prvků. Dřevomorka se také nachází i v obvodových stěnách budovy. K výskytu dřevokazné houby přispívá vlhkost a také sklad dřeva vytvořený u jižní stěny budovy.



## 5. Literatura

- [1] DAŇKOVÁ, Jana a Tereza MURÍNOVÁ. 223-0152/01 Technologie sanací [online]. Ostrava, Skripta. VŠB-TUO. [cit. 2021-4-30].  
Dostupné z: [https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/1397713/mod\\_resource/content/1/skripta%20DR1\\_Technologie%20sanac%C3%AD.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/1397713/mod_resource/content/1/skripta%20DR1_Technologie%20sanac%C3%AD.pdf).
- [2] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID, 2005. Diagnostika stavebních konstrukcí [online]. Brno, Přednášky. VUT [cit. 2021-4-30].  
Dostupné z: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI52-Diagnostika%20stavebnich%20konstrukci/diagnostika\\_stavebnich\\_konstrukce\\_-\\_diagnostika\\_stavebnich\\_konstrukci.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI52-Diagnostika%20stavebnich%20konstrukci/diagnostika_stavebnich_konstrukce_-_diagnostika_stavebnich_konstrukci.pdf).
- [3] BERÁNEK, Jan, Petr MACEK, Jana PAŘÍZKOVÁ ČEVONOVÁ, Michal PATRNÝ, Jindřich ZÁHORKA, Pavel ZAHRADNÍK a Lucie BERÁNKOVÁ, 2015. Metodika stavebněhistorického průzkumu [online]. 1.vydání. Praha: Národní památkový ústav [cit. 2021-4-30]. ISBN 978-80-7480-037-5.  
Dostupné z: [https://www.npu.cz/publikace/metodika-stavebnehistorickeho-pruzkumu.pdf?fbclid=IwAR2UCKLR38zq46cvogUCLnaeXYiYhcg4DMbqmE7NGZQV\\_u5bAUjJH5iEtEEk](https://www.npu.cz/publikace/metodika-stavebnehistorickeho-pruzkumu.pdf?fbclid=IwAR2UCKLR38zq46cvogUCLnaeXYiYhcg4DMbqmE7NGZQV_u5bAUjJH5iEtEEk)
- [4] ŽÍDEK, Libor, Pavel MEC a David BUJDOŠ, 2020. Diagnostika staveb. Ostrava, VŠB-TUO
- [5] Archiv zeměměřičského ústavu [online][cit. 2021-4-30].  
Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/archiv/>
- [6] ŠKABRADA, Jiří, 2003. Konstrukce historických staveb. Příbram: Studio Marvil. ISBN 80-7203-548-7.
- [7] GERNER, Manfred, 2003. Tesařské spoje. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 80-247-0076-X.
- [8] KOHOUT, Jaroslav a Antonín TOPEK, 1996. Tesařství: Tradice z pohledu dneška. 8. upravené a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 810-7169-413-4.
- [9] Zatížení konstrukcí – reprezentativní hodnoty zatížení  
Dostupné z: <https://docplayer.cz/5208744-Zatizeni-konstrukci-reprezentativni-hodnoty-zatizeni.html?fbclid>

- [10] BRAVERY, A.F., R.W. BERRY, J.K. CAREY a D.E. COOPER, 2010. Rozpoznání škod způsobených dřevokaznými houbami a hmyzem v budovách. 3. vydání. BRE. ISBN 978-1-86081-603-1.
- [11] [Kontrolní metody pro stanovení vlhkosti podkladních vrstev podlah - TZB-info](#)
- [12] [Metody pro zjišťování spolehlivosti historických dřevěných konstrukcí - TZB-info](#)
- [13] <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11503-nedestruktivni-diagnosticke-metody-pro-posouzeni-stavajicich-drevenych-konstrukci>
- [14] <http://www.e-pristroje.cz/vlhkomery-drevo.html>
- [15] <https://imlresistograph.wordpress.com/mdandpdseries/>
- [16] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029617304121>
- [17] <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.59609,17.35832,19&info=49.59613,17.35861>
- [18] <https://goo.gl/maps/oagdR5drBQpu1Ke19>

#### Normy

- [19] ČSN ISO 13 822 - Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, září 2005
- [20] ČSN EN 1990 - Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, Praha: Český normalizační institut, duben 2004, prosinec 1979
- [21] ČSN 49 0103 - Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach, Praha: Český normalizační institut,
- [22] ČSN 49 0110 - Drevo. Medza pevnosti v tlaku v smere vláknien, Praha: Český normalizační institut, červen 1979
- [23] ČSN EN 408 +A1 (731741) - Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností, Praha: Český normalizační institut, leden 2013

## Seznam obrázků

Obrázek 1- Kapacitní vlhkoměr .....	14
Obrázek 2- Odporový vlhkoměr [14] .....	15
Obrázek 3 - Resistograph PD 200 [15].....	15
Obrázek 4 - Pilodyn J6 [16].....	16
Obrázek 5- Řešený objekt sýpky ve Velké Bystřici .....	20
Obrázek 6- Katastrální mapa objektu [17] .....	21
Obrázek 7- Letecká mapa objektu [18].....	21
Obrázek 8- Historická mapa umístění objektu [5] .....	22
Obrázek 9- Nejvyšší patro budovy.....	24
Obrázek 10- řešení podepření krovu.....	24
Obrázek 11- konstrukce krovu objektu.....	24
Obrázek 12- Podepření průvlaku u stropní konstrukce ve 2NP .....	26
Obrázek 13- Foto stropní konstrukce ve 2NP .....	26
Obrázek 14- Statické schéma stopního nosníku (vytvořeno pomocí programu SCIPIO) .....	27
Obrázek 15- Napadení dřevěné krokve Dřevomorkou domácí.....	27
Obrázek 16- Poškození konstrukce krovu Dřevomorkou domácí .....	28
Obrázek 17- Napadení u nosné obvodové stěny Dřevomorkou domácí .....	28
Obrázek 18- Půdorys stropní konstrukce ve 2NP a zakreslení míst odběrů zkušebních vzorků .....	29
Obrázek 19- Fotografie vlhké jižní stěny budovy.....	30
Obrázek 20- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R1 .....	33
Obrázek 21- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R3.....	33
Obrázek 22- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R4.....	33
Obrázek 23- Graf z měření přístrojem Resistograph PD 200 v odběrovém místě R2.....	33
Obrázek 24- Zatěžování zkušebního prvku v tlaku .....	40
Obrázek 25- Porušení zkušebního prvku zatěžováním v ohybu .....	45

## Seznam tabulek

Tabulka 1- Měření kapacitním vlhkoměrem u cihlového zdiva v místě označení místě W1 ..	30
Tabulka 2- Měření kapacitním vlhkoměrem u cihlového zdiva v místě označení W2 .....	30
Tabulka 3- Hodnoty naměřené odporovým vlhkoměrem u dřevěných nosníků ve 2.NP. ....	31
Tabulka 4- Hodnoty naměřené přístrojem Pilodyn J6 uprostřed dřevěných stropních nosníků ve 2NP.....	32
Tabulka 5- Hodnoty naměřené přístrojem Pilodyn J6 v místě uložení dřevěných stropních nosníků ve 2NP .....	32
Tabulka 6- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u cihelných vzorků (označení na obrázku č.18 žlutě).....	34
Tabulka 7- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na Pevnost v ohybu .....	34
Tabulka 8- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na Pevnost v ohybu.....	35
Tabulka 9- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy ve do ustálené hmotnosti a byly zkoušeny na Pevnost v ohybu .....	35
Tabulka 10- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti a byly zkoušeny na pevnost v ohybu.....	35
Tabulka 11- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na pevnost v tlaku .....	36
Tabulka 12- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy v laboratorním prostředí a byly zkoušeny na pevnost v tlaku.....	37
Tabulka 13- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku A, které byly uloženy ve vodě do ustálení hmotnosti a byly zkoušeny na pevnost v tlaku .....	38
Tabulka 14- Tabulka 13- Naměřené hodnoty gravimetrickou metodou u dřevěných prvků ze vzorku B, které byly uloženy ve vodě do ustálení hmotnosti a byly zkoušeny na pevnost v tlaku.....	39
Tabulka 15- Hodnoty zaznamenané při měření dřevěných prvků ze vzorku A, zkušební prvky byly uloženy v laboratorním prostředí.....	41
Tabulka 16- Hodnoty zaznamenané při měření dřevěných prvků ze vzorku B, zkušební prvky byly uloženy v laboratorním prostředí.....	42
Tabulka 17- Hodnoty zaznamenané při měření v tlaku dřevěných prvků ze vzorku A, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti.....	43
Tabulka 18- Hodnoty zaznamenané při měření v tlaku dřevěných prvků ze vzorku B, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti.....	44
Tabulka 19- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku A, vzorky byly uloženy v laboratorním prostředí .....	45

Tabulka 20- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku B, vzorky byly uloženy v laboratorním prostředí.....	46
Tabulka 21- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku A, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti .....	46
Tabulka 22- Hodnoty zaznamenané při měření meze pevnosti v ohybu u dřevěných prvků ze vzorku B, vzorky byly uloženy ve vodě do ustálené hmotnosti.....	46